



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 101 30 095 A 1**

51 Int. Cl.⁷:
B 60 L 11/18

21 Aktenzeichen: 101 30 095.6
22 Anmeldetag: 21. 6. 2001
43 Offenlegungstag: 7. 3. 2002

DE 101 30 095 A 1

66 Innere Priorität:
100 41 864. 3 25. 08. 2000

71 Anmelder:
General Motors Corporation, Detroit, Mich., US

74 Vertreter:
Manitz, Finsterwald & Partner GbR, 80336 München

72 Erfinder:
Raiser, Stephen, 63329 Egelsbach, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Antriebseinrichtung für einen Kompressor eines Brennstoffzellensystems

57 Eine Antriebseinrichtung für einen Kompressor, der zur Lieferung von Druckluft für den Betrieb eines Brennstoffzellensystems in einem Kraftfahrzeug ausgelegt ist, wobei die Antriebseinrichtung einen Elektromotor umfaßt, der im Betrieb mit elektrischer Energie vom Brennstoffzellensystem speisbar ist, zeichnet sich dadurch aus, daß für das Anlassen des Brennstoffzellensystems der den Kompressor antreibende Elektromotor mit elektrischer Energie von einer Niederspannungsbatterie antreibbar ist, und daß der Elektromotor mit einer Betriebsspannung betreibbar ist, die deutlich höher liegt als die Ausgangsspannung der Niederspannungsbatterie. Ein Expander kann an den Kompressor angeschlossen werden, um diesen mit Energie der Kathodenabgase anzutreiben. Auch Wasserstoffzirkulation kann zur Anwendung gelangen. Es wird auch ein Verfahren zum Betrieb eines Brennstoffzellensystems beschrieben.

DE 101 30 095 A 1

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Antriebseinrichtung für einen Kompressor, der zur Lieferung von Druckluft für den Betrieb eines Brennstoffzellensystems in einem Kraftfahrzeug ausgelegt ist, wobei die Antriebseinrichtung einen Elektromotor umfaßt, der im Betrieb mit elektrischer Energie vom Brennstoffzellensystem speisbar ist, weiterhin befaßt sich die Erfindung mit einer mit elektrischer Energie betriebenen Einrichtung und einem Verfahren zum Betrieb eines Brennstoffzellensystems.

[0002] Brennstoffzellensysteme mit solchen Antriebseinrichtungen sind u. a. als Antriebsquelle für Kraftfahrzeuge gedacht, wobei die von den Brennstoffzellen gelieferte elektrische Energie nach entsprechender Aufbereitung an einem oder mehreren Antriebsmotoren angelegt wird, die für die Fortbewegung eines Kraftfahrzeuges sorgen. Ein Teil der Ausgangsleistung des Brennstoffzellensystems wird aber auch an den Elektromotor angelegt, der im Betrieb zum Antreiben des Kompressors benötigt wird.

[0003] Das Anlassen von einem Brennstoffzellensystem ist in der Praxis mit Problemen verbunden.

[0004] Eine bekannte Lösung sieht die Verwendung einer Traktionsbatterie mit zum Beispiel 288 V Betriebsspannung vor. Diese Traktionsbatterie hat im Prinzip drei verschiedene Aufgaben:

Zum einen wird sie dazu verwendet, den Hauptkompressor anzutreiben, um mit diesem Kompressor verdichtete Luft in das Brennstoffzellensystem einzuspeisen, so daß Strom erzeugt wird, der dann die Traktionsbatterie als Stromquelle für den den Kompressor antreibenden Elektromotor ersetzt.

[0005] Die zweite Aufgabe der Traktionsbatterie besteht darin, den das Fahrzeug bewegenden Elektromotor bzw. die das Fahrzeug bewegenden Elektromotoren dynamisch zu unterstützen, so daß zum Beispiel bei starker Beschleunigung oder bei erhöhten Geschwindigkeiten die Leistung der Traktionsbatterie die elektrische Ausgangsleistung des Brennstoffzellensystems ergänzt.

[0006] Die dritte Aufgabe besteht darin, daß eine Traktionsbatterie dazu verwendet werden kann, um beispielsweise regeneratives Bremsen zu realisieren. Das heißt, daß bei Abbremsung des Fahrzeuges die vorhandene kinetische Energie zum Teil in elektrische Energie umgewandelt wird, die dann in der Traktionsbatterie gespeichert werden kann.

[0007] Obwohl eine Traktionsbatterie für diese verschiedenen Zwecke nützlich sein kann, stellt sie ein teures und schweres Bauteil dar, so daß man gerne auf die Traktionsbatterie verzichten möchte. Wenn aber die Traktionsbatterie abgeschafft würde, könnte man diese nicht mehr zum Hochfahren des Brennstoffzellensystems verwenden.

[0008] Für das Hochfahren des Brennstoffzellensystems wird Luft benötigt. Da der Luftkompressor aus der Brennstoffzellenspannung betrieben wird, steht diese noch nicht zur Verfügung. Mangels einer Traktionsbatterie ist dann bereits vorgeschlagen worden, mittels eines 12 V-Hilfslüfters, d. h. eines sogenannten Start-up Blowers, das Brennstoffzellensystem mit ausreichender Luft zu versorgen, so daß die Stromerzeugung dort anfängt und das System allmählich hochfährt, bis die Stromerzeugung durch das Brennstoffzellensystem ausreicht, um das System im Betrieb aufrecht zu erhalten.

[0009] Unabhängig davon, ob man mit einer Traktionsbatterie oder mit einem Hilfslüfter arbeitet, sind viele das System verkomplizierende oder verteuernde Komponenten, beispielsweise Lüfter, Ventile, Rohre, 288 V-Batterien etc., notwendig, auf die man lieber verzichten möchte.

[0010] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ohne Anwendung einer Traktionsbatterie oder eines Hilfslüfters

ausreichend Luft zur Verfügung zu stellen, daß das Brennstoffzellensystem angelassen und hochgefahren werden kann.

[0011] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein allgemeines Konzept für die Versorgung von Einrichtungen mit elektrischer Energie bei der Inbetriebnahme eines Brennstoffzellensystems vorzusehen, das preisgünstig realisiert werden kann und zuverlässig arbeitet.

[0012] Weiterhin befaßt sich die vorliegende Erfindung mit der Schaffung eines neuen Verfahrens für den Betrieb bzw. für die Inbetriebnahme eines Brennstoffzellensystems.

[0013] Um diese Aufgaben zu lösen, wird nach einer ersten Variante der Erfindung vorgesehen, daß für das Anlassen des Brennstoffzellensystems der den Kompressor antreibende Elektromotor mit elektrischer Energie von einer Niederspannungsbatterie antreibbar ist und daß der Elektromotor mit einer Betriebsspannung betreibbar ist, die deutlich höher liegt als die Ausgangsspannung der Niederspannungsbatterie.

[0014] Mit anderen Worten wird erfindungsgemäß anerkannt, daß es trotz des nicht unerheblichen Spannungsunterschieds zwischen der Ausgangsspannung der Niederspannungsbatterie und der Betriebsspannung des den Kompressor antreibenden Elektromotors dennoch möglich ist, den Elektromotor und daher auch den Kompressor mindestens bei niedrigen Drehzahlen anzutreiben und hierdurch einen ausreichenden Luftstrom zu erzeugen, um das Brennstoffzellensystem anzulassen, d. h. in Betrieb zu setzen.

[0015] Hierdurch kann auf die teure und schwere Traktionsbatterie ohne weiteres verzichtet werden. Da beim Betrieb eines Kraftfahrzeuges mit einem Brennstoffzellensystem eine Niederspannungsbatterie zur Versorgung der in einem Kraftfahrzeug üblichen Bordelektrik vorgesehen wird – selbst wenn diese Batterie kleiner ausfällt als bei einem Kraftfahrzeug mit herkömmlichem Antrieb, da die Notwendigkeit der Lieferung eines hohen Anlasserstromes entfällt, kann diese kostengünstig für die Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems herangezogen werden.

[0016] Besonders günstig ist es in diesem Zusammenhang, wenn es sich bei dem Kompressor um einen in seiner Drehzahl variablen Kompressor handelt und auf der Luftauslaßseite des Brennstoffzellensystems eine Drosselrichtung vorgesehen ist, die im Fahrbetrieb des Brennstoffzellensystems eine Drosselwirkung aufweist, jedoch zum Anlassen des Systems keine oder nur eine verhältnismäßig kleine Drosselwirkung ausübt.

[0017] Es ist nämlich erfindungsgemäß erkannt worden, daß bei einem in seiner Drehzahl variablen Kompressor ein relativ hoher Luftdurchsatz erreichbar ist, wenn auf der Ausgangsseite der Gegendruck klein gehalten wird. Somit kann auch mit relativ wenig Leistung eine ausreichende Luftströmung erzeugt werden, um das Brennstoffzellensystem in Betrieb zu setzen.

[0018] Nach einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird eine Schalteinrichtung zwischen den die Betriebsspannung führenden Klemmen, d. h. die Ausgangsklemmen des Brennstoffzellensystems und den Ausgangsklemmen der Niederspannungsbatterie, angeordnet und führt wahlweise entweder die Betriebsspannung oder die Niederspannung dem Elektromotor bzw. einem dem Elektromotor vorgeschalteten Speisemodul zu.

[0019] Die Schalteinrichtung soll vorzugsweise so ausgerichtet werden, daß sie zur Erzeugung einer galvanischen Trennung zwischen den die Betriebsspannung führenden Klemmen und den Ausgangsklemmen der Niederspannungsbatterie ausgelegt ist. Auf diese Weise wird verhindert, daß die Niederspannungsbatterie mit der wesentlichen höheren Betriebsspannung belastet wird. Auch wird eine

klare Zuordnung zwischen der jeweiligen Antriebsquelle und dem Elektromotor hierdurch geschaffen. Die Schalteinrichtung kann beispielsweise als Schütz ausgebildet werden, wodurch die Schalteinrichtung während der Lebensdauer des Kraftfahrzeuges viele Schaltvorgänge zuverlässig vornehmen kann. Außerdem stellt ein Schütz eine preisgünstige Lösung für die erfindungsgemäße Verwendung einer Niederspannungsbatterie zum Anlassen eines Brennstoffzellensystems dar.

[0020] Eine weitere Ausführungsform der Erfindung liegt darin, einen Spannungswandler vorzusehen, der die Ausgangsspannung der Niederspannungsbatterie auf ein Spannungsniveau bringt, das zumindest im wesentlichen der Betriebsspannung des Elektromotors entspricht. Hierfür kann der Spannungswandler beispielsweise ein Kleinleistungs-DC-DC-Wandler sein, der zum Hochtransformieren der beispielsweise 12 V Spannung der Niederspannungsbatterie auf etwa 288 V ausreicht. Die erforderliche Ausgangsleistung liegt bei etwa 200 W (im Vergleich beträgt die maximale Abgabeleistung des Elektromotors etwa 7 KW), so daß der entsprechende Strom bei der Niederspannungsbatterie unter 20 A liegt, woraus ersichtlich ist, daß sowohl der DC-DC-Wandler als auch die Niederspannungsbatterie kostengünstig zum Zwecke der Realisierung der Erfindung ausgelegt werden können.

[0021] Besonders günstig ist es, wenn der Elektromotor ein Wechselstrommotor ist, dem ein Speisemodul in Form eines Wechselrichters vorgeschaltet ist, wenn es sich bei dem Spannungswandler um einen DC-DC-Wandler handelt und wenn sowohl der Ausgang des DC-DC-Wandlers als auch die von den Brennstoffzellen gelieferte Betriebsspannung dem Eingang des Wechselrichters zuführbar sind.

[0022] Einerseits stellt ein Wechselstrommotor einen preisgünstigen Motor zum Antreiben des Kompressors da und kann ohne weiteres von einem Leistungswechselrichter ein sogenanntes PIM-Power Inverter Module angesteuert werden. Andererseits bietet diese Lösung die Möglichkeit, den Ausgang des DC-DC-Wandlers permanent mit den die Betriebsspannung führenden Klemmen zu verbinden, so daß keine besonderen Maßnahmen erforderlich sind, um den DC-DC-Wandler ein- und aus zu schalten, da dieser nur dann funktioniert, wenn das elektrische System eingeschaltet ist und die Betriebsspannung niedriger als die Ausgangsspannung des DC-DC-Wandlers liegt. Es sind somit keine besonders teuren schaltungstechnischen Maßnahmen erforderlich, um diese Ausführungsform zu realisieren.

[0023] Es ist aber nicht zwingend erforderlich, den Elektromotor als Wechselstrommotor zu realisieren; auch die Verwendung eines Gleichstrommotors mit einer entsprechenden Steuerung bzw. mit einem entsprechenden Speisemodul käme in Frage.

[0024] Typische Werte für die Ausgangsspannung des Brennstoffzellensystems, d. h. die Betriebsspannung, liegen im Spannungsbereich zwischen 100 V und 500 V, während die Ausgangsspannung der verwendeten Niederspannungsbatterie üblicherweise im Bereich zwischen 12 V und 48 V liegt und vorzugsweise entweder 12 V oder 42 V beträgt.

[0025] Wie bereits erwähnt, ist das Kraftfahrzeug vorzugsweise so unter Anwendung der erfindungsgemäßen Antriebseinrichtung konzipiert, daß keine Traktionsbatterie vorhanden ist. Der Kompressor ist beispielsweise ein sogenannter Schraubenverdichter, da ein Kompressor dieser Art einen im gegendrucklosen Schwachlastfall verwendbaren Hauptkompressor darstellt. Auch können andere Kompressorarten verwendet werden, die ein entsprechendes Verhalten aufweisen.

[0026] Nach einer weiteren Variante der Erfindung wird eine mit elektrischer Energie betriebene Einrichtung für den

Betrieb eines Brennstoffzellensystems vorgesehen, wobei die Einrichtung im Betrieb mit elektrischer Energie vom Brennstoffzellensystem speisbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß für das Anlassen des Brennstoffzellensystems die Einrichtung mit elektrischer Energie von einer Niederspannungsbatterie antreibbar ist, und daß die Einrichtung mit einer Betriebsspannung betreibbar ist, die deutlich höher liegt als die Ausgangsspannung der Niederspannungsbatterie.

[0027] Hierdurch wird erfindungsgemäß anerkannt, daß das Konzept des Antreibens von üblicherweise mit Hochspannung betriebenen Einrichtungen mit Energie von einer Niederspannungsbatterie während des Anlassens des Brennstoffzellensystems auf andere Einrichtungen ausgedehnt werden kann. Beispielsweise kann das Konzept auf das Antreiben einer Wasserstoffrezirkulationspumpe ausgedehnt werden. Das Konzept ist aber auch für das Betreiben anderer elektrisch betriebener Komponenten anzuwenden. Solche andere Komponente sind z. B. eine Heizvorrichtung um ein frostgefährdetes Ventil vorzuheizen oder eine Heizvorrichtung, die zur Wasserdampfzeugung eingesetzt wird.

[0028] Nach einer dritten Variante der Erfindung wird ein Verfahren zum Betrieb eines Brennstoffzellensystems mit mindestens einer Einrichtung, die im Betrieb mit elektrischer Energie vom Brennstoffzellensystem gespeist wird, vorgesehen mit den kennzeichnenden Merkmalen, daß für das Anlassen des Brennstoffzellensystems die Einrichtung mit elektrischer Energie von einer Niederspannungsbatterie angetrieben wird und daß nach dem Anlassen des Brennstoffzellensystems und der Erzeugung von elektrischer Energie vom Brennstoffzellensystem die Einrichtung anschließend mit Hochspannungsenergie aus dem Brennstoffzellensystem betrieben wird.

[0029] Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind den weiteren Patentansprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung zu entnehmen.

[0030] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert, in welcher zeigen:

[0031] Fig. 1 ein schematisches Blockdiagramm einer ersten erfindungsgemäßen Antriebseinrichtung für einen Luftkompressor eines Brennstoffzellensystems.

[0032] Fig. 2 eine Darstellung ähnlich der Fig. 1, jedoch mit weiteren Details einer möglichen elektrischen Schaltung, und

[0033] Fig. 3 eine Darstellung ähnlich der Fig. 1 einer weiteren, erfindungsgemäßen Variante einer Antriebseinrichtung für einen Luftkompressor eines Brennstoffzellensystems.

[0034] Fig. 4 eine Darstellung ähnlich den bisherigen Darstellungen, bei der jedoch ein Expander zur Anwendung kommt.

[0035] Fig. 5 eine Darstellung ähnlich den bisherigen Darstellungen, bei der jedoch eine Wasserstoffrezirkulationspumpe zur Anwendung kommt.

[0036] Bezug nehmend auf die Fig. 1 ist mit 10 ein Kompressor angedeutet, der von einem Elektromotor 12, beispielsweise in Form eines Wechselstrommotors, angetrieben werden kann. Beim Antrieb des Kompressors 10 vom Motor 12 wird vom Kompressor Luft entsprechend dem Pfeil 14 durch den Lufteinlaß 16 eingesaugt und mit einem erhöhten Druck über den Luftauslaß 18 des Kompressors dem Lufteinlaß 20 auf der Kathodenseite eines Brennstoffzellensystems 22 zugeführt.

[0037] In diesem Beispiel wird das Brennstoffzellensystem durch mehrere, parallel und/oder in Reihe zueinander geschaltete PEM (Proton Exchange Membrane) Brennstoffzellen gebildet, diese liegen in Form eines sogenannten "Stack" vor. Wasserstoff wird entsprechend dem Pfeil 24

über den Eingang 26 auf der Anodenseite des Brennstoffzellensystem 22 diesem zugeführt und die durch die Membrane hindurch passierende Protonen kombinieren in den Brennstoffzellen mit der dem Kathodeneingang 20 zugeführten Luftsauerstoff zur Bildung von Wasser bei der gleichzeitigen Erzeugung von elektrischer Energie, die in an sich bekannter Weise über nicht gezeigte elektrische Leitungen zu einem Hochspannungsbuss 28, bestehend aus zwei Leitungen 30 und 32, gelangt.

[0038] Auf der Anodenseite des Brennstoffzellensystems 22 gibt es einen Ausgang 34 für die dort vorhandenen Gase in Form von überschüssigem Wasserstoff, der bspw. wiederverwendet oder verbrannt werden kann. Auf der Kathodenseite gibt es einen Ausgang 36, der überschüssigen Sauerstoff, Stickstoff und Wasser aus dem Brennstoffzellensystem 22 herausführt, wobei das Wasser abgetrennt und zur Befeuchtung der vom Kompressor bei 18 austretende und dem Brennstoffzellensystem bei 20 zugeführte Luft verwendet werden kann (nicht gezeigt). Die verbleibenden Bestandteile, d. h. überschüssiger Sauerstoff, Stickstoff und nicht wiederverwendetes Wasser verlassen das System als Abgase.

[0039] Obwohl das Brennstoffzellensystem hier Wasserstoff als Brennstoff verwendet, gibt es andere Brennstoffzellenarten, die mit Kohlenwasserstoffen als Brennstoff arbeiten, wobei diese Kohlenwasserstoffe erst durch Reformierung und verschiedene Shiftreaktionen in ein wasserstoffreiches Synthesegas für die eigentlichen Brennstoffzellen aufgearbeitet werden müssen.

[0040] Die Einrichtungen, die die Reformierung und Shiftreaktionen durchführen, müssen zusätzlich zu den Brennstoffzellen teilweise mit Luft versorgt werden, wofür ebenfalls ein Kompressor benötigt ist.

[0041] Auch sind Brennstoffzellen bekannt, die mit Methanol direkt gespeist werden. Auch solche Brennstoffzellensysteme benötigen Sauerstoff für die Stromerzeugungsreaktion und müssen mit Luft von einem Kompressor versorgt werden.

[0042] Die Bezeichnung "Brennstoffzellensystem" wird hier als Gattungsbegriff verwendet, d. h. das Brennstoffzellensystem 22 könnte eine beliebige, für den Betrieb von Kraftfahrzeugen geeignete Ausbildung aufweisen. In jedem Fall wird ein Kompressor zur Lieferung von Druckluft zur Anwendung gelangen.

[0043] Das Bezugszeichen 38 deutet hier auf eine Drossleinrichtung hin, die von einem Solenoid 40 betätigt werden kann, und zwar zwischen einer voll geöffneten Stellung für das Anlassen des Brennstoffzellensystems und eine Drosselstellung, die im ständigen Betrieb des Brennstoffzellensystems nach Anlassen desselben gewählt wird. Unter Umständen ist diese Einrichtung nicht notwendig da bei geringer Luftdurchströmung die Brennstoffzellen ohnehin einen kleinen Luftwiderstand bieten, der aber erst bei größerem Luftdurchsatz groß wird. Alternativ zu einer Drossleinrichtung könnte bei Inbetriebnahme der Brennstoffzellen die Abgase über eine ansteuerbare Weiche der Umgebung direkt zugeführt werden, d. h. ohne größeren Widerstand, und erst beim Erreichen des Betriebszustandes die Weiche umgestellt werden, um die Abgase zu Wasserzurückgewinnung dem normalen Abgassystem zuzuführen, bei dem ein größerer Widerstand herrscht.

[0044] Im ständigen Betrieb erzeugt das Brennstoffzellensystem 22 elektrische Energie, so daß eine Betriebsspannung an den Klemmen 42 und 44 der Leitungen 32 und 30 des Hochspannungsbusses 28 anliegt. Diese Spannung wird über die Leitungen 30, 32 einem Wechselrichter 46 zugeführt, das den Elektromotor 12 über die Leitungen 48 antreibt. Diese Art des Antriebes, die eine Steuerung beeinhal-

tet ist an sich bekannt und wird hier im Detail nicht weiter erörtert.

[0045] Das Bezugszeichen 50 bezeichnet eine Niederspannungsbatterie, die beim Anlassen des Brennstoffzellensystems 22 dem Wechselrichter 46 über einen DC-DC-Wandler 52 mit elektrischer Energie für den Antrieb des Elektromotors 12 versorgt. Die Niederspannungsbatterie 50 ist nämlich an den Niederspannungsbuss 54 für die Bordelektrik des entsprechenden Kraftfahrzeuges angeschlossen und liefert über diesen Niederspannungsbuss 54, nach Schließung des Schalters 61, die entsprechende elektrische Leistung an den DC-DC-Wandler 52. Der Ausgang des DC-DC-Wandlers 52 liefert über die Leitungen 56 und 58 eine hochtransformierte Spannung an die Leitungen 30 bzw. 32 des Hochspannungsbusses 28, der, wie bereits erläutert, direkt zum Wechselrichter 46 führt.

[0046] Bei Inbetriebnahme des Brennstoffzellensystems wird daher nach Schließung des Schalters 61 elektrische Leistung von der Niederspannungsbatterie 50 an den DC-DC-Wandler 52 angelegt und über das Solenoid 40 die Drossleinrichtung 38 geöffnet. Nach der Hochtransformierung der an den Spannungswandler 52 angelegten Spannung wird diese hochtransformierte Spannung über die Leitungen 30, 32 an den Wechselrichter 46 angelegt. Dieser sorgt dann für den Antrieb des Elektromotors 12 und über dessen Ausgangswelle 60 für den Antrieb des Kompressors 10, der das Brennstoffzellensystems mit Luft versorgt.

[0047] Fig. 2 zeigt eine Möglichkeit für das Einschalten der Antriebseinrichtung gemäß Fig. 1, wobei Fig. 2 zusätzlich zu den in Fig. 1 dargestellten Komponenten einen Schlüsselschalter 62 eine elektrische Steuerung 64 und Leitungen 66, 68, 70, 72 und 74 enthält.

[0048] Wenn der Benutzer in sein Fahrzeug einsteigt, so kann er beispielsweise über den Schlüsselschalter 62 die Steuerung 64 veranlassen, den Schalter 61 über die Leitung 70 zu schließen, so daß die Ausgangsspannung der Niederspannungsbatterie an den DC-DC-Wandler 52 über den Niederspannungsbuss angelegt wird.

[0049] Gleichzeitig wird über die Steuerleitung 74 das Solenoid 40 zur Öffnung der Drossleinrichtung 38, beispielsweise in Form eines beliebigen Schiebers veranlaßt. Das Steuersignal geht über die Steuerleitung 72 an den Wechselrichter 46, damit dieser den Betrieb aufnimmt und über die Leitungen 48 den Elektromotor 12 antreibt. Der Elektromotor 12 treibt dann über die Welle 60 den Kompressor 10 an. Die Luftversorgung des Brennstoffzellensystems 22 führt in kurzer Zeit zur Erzeugung der gewünschten Betriebsspannung vom Brennstoffzellensystem 22, die dann an den Klemmen 42 und 44 des Hochspannungsbusses zur Verfügung steht und ermöglicht einen höheren Ausgangsstrom des Wechselrichters 46. Durch den höheren Ausgangsstrom steigt die Abgabeleistung des Elektromotors 12 und daher die Geschwindigkeit des Kompressors 10 an. Es kann dann die Drossleinrichtung 38 geschlossen werden. Das Brennstoffzellensystem befindet sich dann im normalen Betrieb.

[0050] Da die Betriebsspannung an den Ausgangsklemmen des DC-DC-Wandlers der Ausgangsspannung entspricht bzw. übersteigt, wird von diesem kein Strom mehr erzeugt und die Versorgung des Elektromotors 12 erfolgt vollständig über den Hochspannungsbuss des Brennstoffzellensystems 22.

[0051] Fig. 3 zeigt eine alternative Möglichkeit, den Elektromotor 12 mit elektrischer Leistung von einer Niederspannungsbatterie zu versorgen. Die in Fig. 3 gezeigten Bauteile entsprechend weitestgehend denen der Ausführungsform gemäß Fig. 1, weshalb für die gleichen Teile die gleichen Bezugszeichen verwendet werden. Die für die Ausführungsform gemäß Fig. 1 und 2 abgegebene Beschreibung gilt

auch für die Bestandteile der Ausführungsform gemäß **Fig. 3**, die mit den gleichen Bezugszeichen versehen ist. Anstelle eines DC-DC-Wandlers wird bei der Ausführungsform gemäß **Fig. 3** eine Schalteinrichtung **80** in Form eines Schützes verwendet, der die Eingangsklemmen **82** und **84** des Wechselrichters **46** wahlweise mit den die Betriebsspannung führenden Klemmen **42** bzw. **44** des Hochspannungsbusses **28** oder mit den Ausgangsklemmen der Niederspannungsbatterie **50** verbindet.

[0052] Das heißt, der Schütz **80** sorgt für die Bewegung der beweglichen Schaltarme **86**, **88**. Damit kann der Wechselrichter **46** entweder mit der Betriebsspannung von den Klemmen **42**, **44** oder mit Niederspannung vom Niederspannungsbus **54** versorgt werden. Obwohl bei Versorgung des Wechselrichters mit Niederspannung von der Niederspannungsbatterie **50** die Ausgangsleistung des Wechselrichters **46** beschränkt ist, reicht es – vor allem bei Anwendung eines im gegendrucklosen Schwachlastfall optimierten Kompressors **10** – aus, um für eine Luftströmung durch das Brennstoffzellensystem **22** zu sorgen, damit dieses ausreichende elektrische Energie erzeugt, um die gewünschte Betriebsspannung an den Klemmen **42** bzw. **44** zu erzeugen. Sobald dies erreicht ist, wird über den Schütz **80** die Niederspannungsbatterie **50** vom Wechselrichter **46** entkoppelt und es steht ausreichende elektrische Leistung am Ausgang des Wechselrichters **46** zur Verfügung, um den Elektromotor **12** und daher den Kompressor **10** bei voller Leistung anzutreiben.

[0053] Die **Fig. 4** zeigt eine Anordnung, die denen der **Fig. 1–3** sehr ähnlich ist. Aus diesem Grunde sind für gleiche Teile die gleichen Bezugszeichen verwendet worden und es gilt für diese Teile auch die bisherige Beschreibung, sofern nichts Gegenteiliges gesagt wird.

[0054] Wesentlich bei dieser Ausführungsform ist, daß ein Expander **90** über eine Abtriebswelle **60A** an den Rotor des Kompressors **10** bzw. an dessen Antriebswelle **60** angeschlossen ist. Die Anodenabgase, die den Stack bei **36** verlassen, werden in diesem Beispiel über die Leitungen **92** und **94** dem Einlaß des Expanders **90** zugeführt und die kinetische Energie bzw. Druckenergie des Kathodenabgasstromes, der den Stack bei **36** verläßt, wird im Expander in eine Drehbewegung dessen Abtriebswelle **60A** umgewandelt, die den Kompressor **10** mechanisch antreibt, so daß mindestens ein Teil der Antriebsenergie des Kompressors anstatt vom Elektromotor **12** vom Expander geliefert wird. Diese Antriebsart für den Kompressor **10** tritt erst dann im Betrieb ein, wenn das Brennstoffzellensystem bereits angelassen ist. Wie bereits oben erwähnt, ist es zumindest empfehlenswert und in vielen Fällen notwendig für die Anlaßphase für einen niedrigen Luftwiderstand am Ausgang des Brennstoffzellensystems zu sorgen. Bei den bisherigen Ausführungsformen ist dieser niedrige Luftwiderstand durch die Drosselklappe **38** erreicht, die vom Solenoid **40** angesteuert für die Anlaßphase geöffnet wird. Die Drosselklappe **38** und das Solenoid **40** kommen auch hier zum Einsatz, hier werden sie aber anstatt in der Kathodenabgasleitung in der Abgasleitung **96** des Expanders eingebaut, so daß die Kathodenabgase das System entsprechend dem Pfeil **98** verlassen.

[0055] Je nach Bauart und Auslegung des Expanders kann es erforderlich sein, eine Zusatzklappe **38A** mit Solenoid **40A** über eine Leitung **95** an die Leitung **92** stromab der zu dem Expander **90** führenden Abzweigung **94** anzuschließen. In der Anlaßphase wird dann diese Zusatzklappe **38A** geöffnet, wodurch die Kathodenabgase, die den Stack bei **36** verlassen entsprechend dem Pfeil **98A** aus dem Brennstoffzellensystem austreten können, so daß sie nicht erst einen eventuell vorhandenen inneren Widerstand des Expanders überwinden müssen. Es wäre auch denkbar, bei dieser Ausführungsform die Drosselklappe **38** und Solenoid **40** fortzulassen und lediglich die Zusatzklappe **38A** mit Solenoid **40A** zu verwenden. Da der Motor **12** in der Anlaßphase den Expander über die Welle **60A** antreiben muß, was eine zusätzliche Belastung der Niederspannungsbatterie darstellt, könnte hier ein Freilauf zur Anwendung gelangen, der in den Expander integriert oder wie bei **100** in gebrochenen Linien dargestellt, wahlweise in die Antriebswelle **60A** zwischen Expander **90** und Kompressor **10** angeordnet ist. Anstatt einen Freilauf **100** zu verwenden, könnte eine Kupplung, beispielsweise eine elektromagnetische betätigte Kupplung oder eine Zentrifugalkupplung zwischen dem Kompressor und dem Expander **90** angeordnet werden. Auch wäre es denkbar, zwischen diesen beiden Teilen ein Getriebe beispielsweise ein Untersetzungsgetriebe einzusetzen, wodurch eine höhere Drehgeschwindigkeit des Expanders im Vergleich zum Kompressor möglich ist.

[0056] Vorteilhaft im Zusammenhang mit einem Systemstart aus der Niederspannungsbatterie **50** ist auch die Implementation des Expanders **90** in einer nicht mit dem Kompressor **10** mechanisch gekoppelten Version in Form eines Abgasturboladers in Radialverdichterausführung mit Intercoolern/Wärmetauschern in einer Ausführung, die an sich für herkömmliche Pkws bekannt ist. Bei der Verwendung eines Abgasturboladers im Sinne der vorliegenden Lehre entzieht eine Abgasturbine dem Abgasstrom der Brennstoffzelle Druck- bzw. Volumenstrom-Energie. Ein mechanisch starr mit dieser hochdrehenden Turbine gekoppelter zusätzlicher Turbinen-Verdichter entlastet den Kompressor **10**, indem diesem Kompressor **10** über die zusätzliche Verdichterturbine z. B. ein erhöhter Vordruck bereitgestellt wird. Alternativ hierzu kann der Abgasturbolader so angewendet werden, daß er den vom Kompressor gelieferten Luftstrom zusätzlich verdichtet. Der Vorteil eines solchen Abgasturboladers beim Starten ist, neben der mechanischen Entkopplung vom Kompressor **10** die Charakteristik des Radialverdichters bzw. allgemein der Strömungsmaschinen, die dazu führt, daß bei Meiner Durchströmung (wie sie beim Systemstart durch den Kompressor **10** erzeugt wird) nur ein minimaler Gegendruck aufgebaut wird, so daß beim Start der Antrieb für den Kompressor nicht unnötig belastet wird.

[0057] Zu **Fig. 4** ist auch anzumerken, daß die Leitungen **36** und **34** gegenüber den bisherigen Ausführungsformen der **Fig. 1–3** vertauscht sind, um die Zeichnung zu vereinfachen. Die genaue Stelle, an der die Kathodenabgase bei **36** und die Anodenabgase bei **34** den Stack **22** verlassen, ist lediglich eine Frage der internen Auslegung des Stacks.

[0058] Die **Fig. 5** zeigt nun eine weitere Abwandlung der erfindungsgemäßen Ausführung gemäß **Fig. 4**. Hier wird in den Wasserstoffkreislauf auf der Anodenseite des Brennstoffzellensystems eine Wasserstoffzirkulationspumpe **110** mit elektrischem Antriebsmotor **112** eingebaut. Es kann sich bei der Rezirkulationspumpe **110** um ein Gebläse bzw. einen Verdichter, z. B. einen Radialverdichter, einen Axialverdichter oder einen Seitenkanalverdichter handeln. Der Elektromotor **112** wird hier genauso betrieben wie der Motor **12**, d. h., das beim Anlassen des Brennstoffzellensystems der Motor **112** parallel zum Motor **12** mit Energie aus der Niederspannungsbatterie **50** angesteuert wird, wodurch dieser Motor beispielsweise bei einer Leistungsaufnahme von 50–100 Watt bei etwa 10% der Nennndrehzahl läuft. Sobald das Brennstoffzellensystem ausreichende elektrische Energie erzeugt, kann der Motor **112** wie auch der Kompressormotor **12** über die Leitungen **30** und **32** des Hochspannungsbusses **28** ggf. über den Wechselrichter **46** angetrieben werden.

[0059] Es ist nämlich festgestellt worden, daß die Wasserstoffrezirkulation, die an sich bekannt ist, beispielsweise aus

der deutschen Patentanmeldung 100 62 673.4 bzw. aus der internationalen Anmeldung WO 99/05741, die normalerweise nur im stetigen Betrieb des Brennstoffzellensystems eine Rolle spielt, einen bedeutenden Einfluß auf das Anlaufverfahren gemäß vorliegender Erfindung haben kann. Die geringfügige Wasserstoffrezirkulation, die in der Anlaufphase stattfindet, stellt nämlich sicher, daß der Wasserstoff relativ gleichmäßig verteilt in den Brennstoffzellen vorliegt und dies erleichtert das Anlassen des Brennstoffzellensystems bei kleinem Luftdurchsatz.

[0060] Es soll darauf hingewiesen werden, daß es viele verschiedenen Möglichkeiten gibt, einen solche Wasserstoffrezirkulationspumpe im System anzuordnen. Wesentlich für die vorliegende Erfindung ist u. a. auch das Konzept, das eine solche Rezirkulationspumpe und ggf. auch weitere Komponenten, die in der Regel mit höherer Spannung betrieben werden, beim Startvorgang des Systems von einer Niederspannungsbatterie und dann, nach der Anlaufphase, anschließend über den Hochspannungsbus bei Entkopplung von der Niederspannungsbatterie betrieben werden können.

Patentansprüche

1. Antriebseinrichtung für einen Kompressor (10), der zur Lieferung von Druckluft für den Betrieb eines Brennstoffzellensystems (22) in einem Kraftfahrzeug ausgelegt ist, wobei die Antriebseinrichtung einen Elektromotor (12) umfaßt, der im Betrieb mit elektrischer Energie vom Brennstoffzellensystem (22) speisbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß für das Anlassen des Brennstoffzellensystems (22) der den Kompressor (10) antreibende Elektromotor (12) mit elektrischer Energie von einer Niederspannungsbatterie (50) antreibbar ist, und daß der Elektromotor (12) mit einer Betriebsspannung betreibbar ist, die deutlich höher liegt als die Ausgangsspannung der Niederspannungsbatterie (50).
2. Antriebseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei dem Kompressor (10) um einen in seiner Drehzahl variablen Kompressor handelt, daß auf der Luftauslaßseite (36) des Brennstoffzellensystems (22) eine Drosseleinrichtung (38) vorgesehen ist, die im Fahrbetrieb des Brennstoffzellensystems eine Drosselwirkung aufweist, jedoch zum Anlassen des Brennstoffzellensystems keine oder eine nur verhältnismäßig kleine Drosselwirkung ausübt.
3. Antriebseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Schalteinrichtung (80) zwischen den die Betriebsspannung führenden Klemmen (42, 44) und den Ausgangsklemmen der Niederspannungsbatterie (50) angeordnet ist und wahlweise die Betriebsspannung oder die Niederspannung dem Elektromotor (12) bzw. einem dem Elektromotor vorgeschaltetem Speisemodul (46) zuführt.
4. Antriebseinrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Schalteinrichtung (80) zur Erzeugung einer galvanischen Trennung zwischen den die Betriebsspannung führenden Klemmen (42, 44) und den Ausgangsklemmen der Niederspannungsbatterie (50) ausgelegt ist.
5. Antriebseinrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Schalteinrichtung (80) als Schütz ausgebildet ist.
6. Antriebseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Spannungswandler (52) vorgesehen ist, der die Ausgangsspannung der Niederspannungsbatterie (50) auf ein Spannungsniveau bringt, das zumindest im wesentlichen der Betriebs-

spannung des Elektromotors (12) entspricht.

7. Antriebseinrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektromotor (12) ein Wechselstrommotor ist, dem ein Speisemodul in Form eines Wechselrichters (46) vorgeschaltet ist, daß es sich bei dem Spannungswandler (52) um einen DC-DC-Wandler handelt, und daß sowohl der Ausgang des DC-DC-Wandlers als auch die von den Brennstoffzellen gelieferte Betriebsspannung dem Eingang des Wechselrichters (46) zuführbar sind.

8. Antriebseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektromotor ein Gleichstrommotor ist.

9. Antriebseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangsspannung des Brennstoffzellensystems (22), d. h. die Betriebsspannung, im Spannungsbereich zwischen 100 V und 500 V liegt.

10. Antriebseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangsspannung der Niederspannungsbatterie (50) im Bereich zwischen 12 V und 48 V liegt, und vorzugsweise 12 V oder 42 V beträgt.

11. Antriebseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß keine Traktionsbatterie vorhanden ist.

12. Antriebseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei dem Kompressor (10) um einen Schraubenverdichter handelt.

13. Mit elektrischer Energie betriebene Einrichtung (12; 112) für den Betrieb eines Brennstoffzellensystems (22), wobei die Einrichtung im Betrieb mit elektrischer Energie vom Brennstoffzellensystem (22) speisbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß für das Anlassen des Brennstoffzellensystems (22) der Einrichtung (12; 112) mit elektrischer Energie von einer Niederspannungsbatterie (50) antreibbar ist, und daß die Einrichtung (12; 112) mit einer Betriebsspannung betreibbar ist, die deutlich höher liegt als die Ausgangsspannung der Niederspannungsbatterie (50).

14. Einrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei der Einrichtung um einen Antriebsmotor (12) für einen Kompressor (10) handelt, der zur Lieferung von Druckluft für den Betrieb des Brennstoffzellensystems ausgelegt ist.

15. Einrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei der Einrichtung um einen Antriebsmotor (112) für eine Wasserstoffrezirkulationspumpe (110) handelt, der für die Rezirkulation vom Wasserstoff im Anodenkreislauf des Brennstoffzellensystems sorgt.

16. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Expander (90) vorgesehen ist, der über einen Welle (60A) mit dem Kompressor (10) gekoppelt ist und der von Abgasen des Brennstoffzellensystems antreibbar ist.

17. Einrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Expander (90) durch den Kathodenabgasen des Brennstoffzellensystems antreibbar ist.

18. Einrichtung nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß eine steuerbare Drosselklappe (38) auf der Ausgangsseite des Expanders vorgesehen ist.

19. Einrichtung nach Anspruch 16, 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Kathodenabgang (36) des Brennstoffzellensystems und dem Expander (90) eine Abgasleitung (95) vorgesehen ist,

die eine steuerbare Klappe (38A) enthält.

20. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 16–19, dadurch gekennzeichnet, daß eine Freilaufeinrichtung (100) zwischen dem Kompressor (10) und dem Expander (90) vorgesehen ist. 5

21. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 16–20, dadurch gekennzeichnet, daß eine Kupplung zwischen dem Kompressor (10) und dem Expander (90) vorgesehen ist.

22. Einrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß es sich um einen steuerbare Kupplung handelt. 10

23. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 16–22, dadurch gekennzeichnet, daß ein Getriebe zwischen dem Expander (90) und dem Kompressor (10) vorgesehen ist. 15

24. Einrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei dem Getriebe um ein Untersetzungsgetriebe handelt, d. h. der Expander (90) läuft schneller als der Kompressor (10). 20

25. Einrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei der Wasserstoffzirkulationspumpe (110) um einen Verdichter aus der Gruppe der axialen Verdichter, der radialen Verdichter und der Seitenkanalverdichter handelt. 25

26. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1–15, dadurch gekennzeichnet, daß ein Expander vorgesehen ist, der von den Abgasen des Brennstoffzellensystems antreibbar ist, und daß der Expander einen zugeordneten Zusatzverdichter antreibt, der einen verdichteten Luftstrom an den Kompressor liefert oder den Ausgangsluftstrom des Kompressors zusätzlich verdichtet. 30

27. Einrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß der Expander mit Zusatzverdichter ein Abgasturbolader ist. 35

28. Einrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß ein Intercooler zwischen dem Abgasturbolader und dem Kompressor vorgesehen ist.

29. Verfahren zum Betrieb eines Brennstoffzellensystems mit mindestens einer Einrichtung (12; 112), die im Betrieb mit elektrischer Energie vom Brennstoffzellensystems (22) gespeist wird, dadurch gekennzeichnet, daß für das Anlassen des Brennstoffzellensystems (22) die Einrichtung (12; 112) mit elektrischer Energie von einer Niederspannungsbatterie (50) angetrieben wird und daß nach dem Anlassen des Brennstoffzellensystems und der Erzeugung von elektrischer Energie vom Brennstoffzellensystem die Einrichtung (12; 112) anschließend mit Hochspannungsenergie aus dem Brennstoffzellensystems betrieben wird. 40 45 50

30. Verfahren nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei der Einrichtung (12) um einen Elektromotor handelt, der zum Antrieb eines Kompressors (10) des Brennstoffzellensystems (22) dient, der zur Lieferung von Druckluft für den Betrieb des Brennstoffzellensystems (22) ausgelegt ist. 55

31. Verfahren nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß beim Anlassen des Brennstoffzellensystems eine Wasserstoffströmung im Anodenkreislauf des Brennstoffzellensystems erzeugt wird, um eine Verteilung von Wasserstoff in den Brennstoffzellen (22) des Brennstoffzellensystems zu erzeugen. 60

32. Verfahren nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei der Einrichtung zur Erzeugung einer Wasserstoffverteilung um eine Wasserstoffzirkulationspumpe (110) handelt, die in der Anlaufphase mit elektrischer Energie von der Niederspannungsbatterie (50) angetrieben wird und im Betriebszustand des 65

Brennstoffzellensystems mit elektrischer Energie vom Brennstoffzellensystem betrieben wird.

33. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 29 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß die kinetische Energie und/oder Druckenergie der Kathodenabgase ausgenützt wird, um einen Expander (90) anzutreiben, der beim Betrieb des Brennstoffzellensystems für den Antrieb des Druckluft für das Brennstoffzellensystem liefernden Kompressors (10) sorgt.

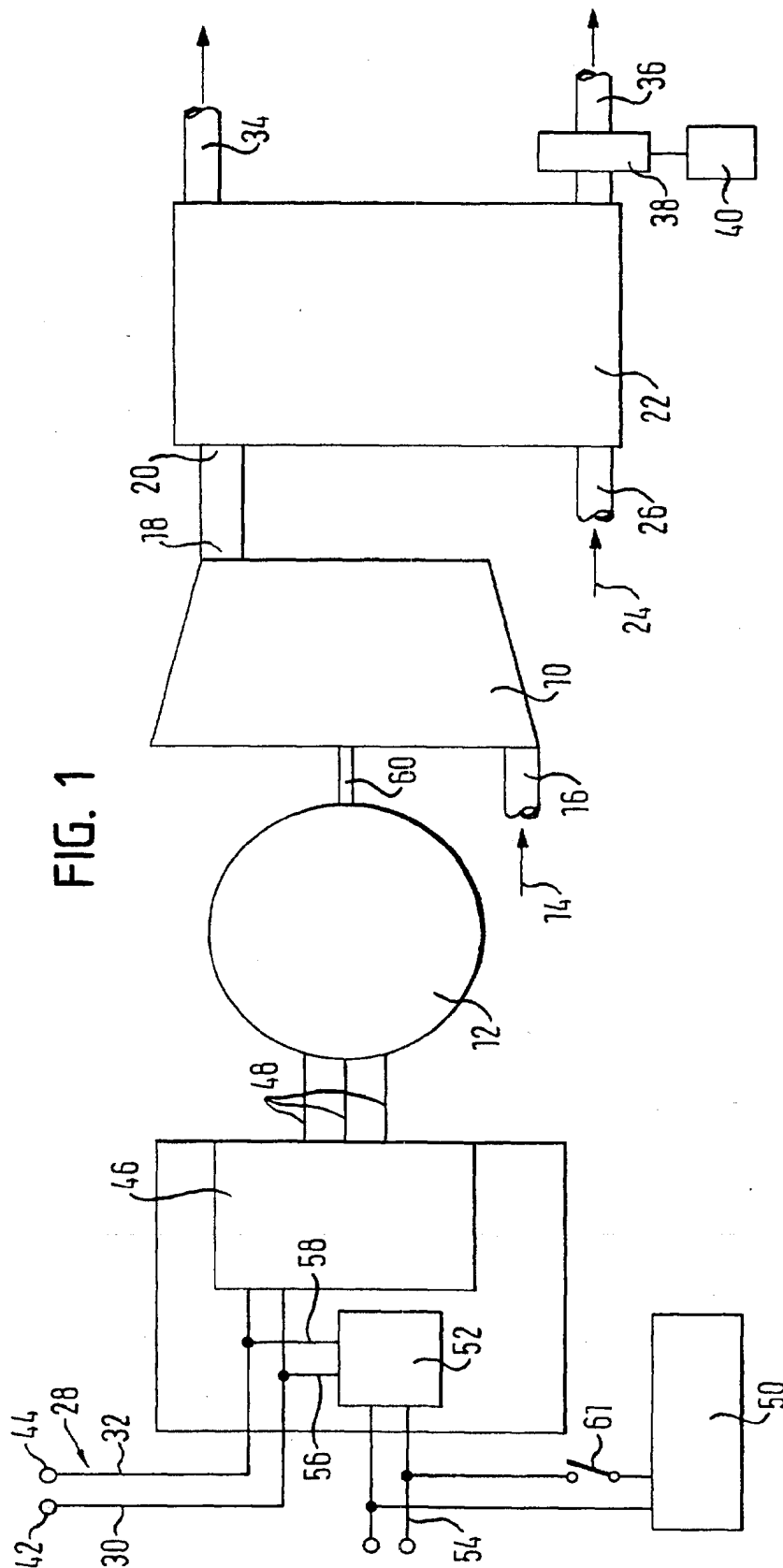
34. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 29 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß beim Anlassen des Brennstoffzellensystems eine Drosselklappe (38; 38A) auf der Kathodenabgasseite des Brennstoffzellensystems geöffnet wird, um einen niedrigen Luftwiderstand zu erzeugen und daß dieser Drosselklappe nach erfolgtem Anlassen des Brennstoffzellensystems in eine Stellung gebracht wird, die für einen höheren Luftwiderstand sorgt.

35. Verfahren nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß die steuerbare Drosselklappe (38) dem Kathodenausgang des Brennstoffzellen-Stacks benachbart angeordnet wird.

36. Verfahren nach Anspruch 34 oder 35, dadurch gekennzeichnet, daß eine steuerbare Klappe (38A) in einer Abgasleitung (95) vorgesehen ist, die an eine Rückkopplungsleitung (92; 94) angeschlossen ist, die vom Kathodenausgang (36) des Brennstoffzellen-Stacks zum Eingang des Expanders (90) führt und diese steuerbare Klappe beim Anlassen des Brennstoffzellensystems geöffnet wird und nach erfolgter Anlassung des Brennstoffzellensystems mindestens teilweise geschlossen wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 1



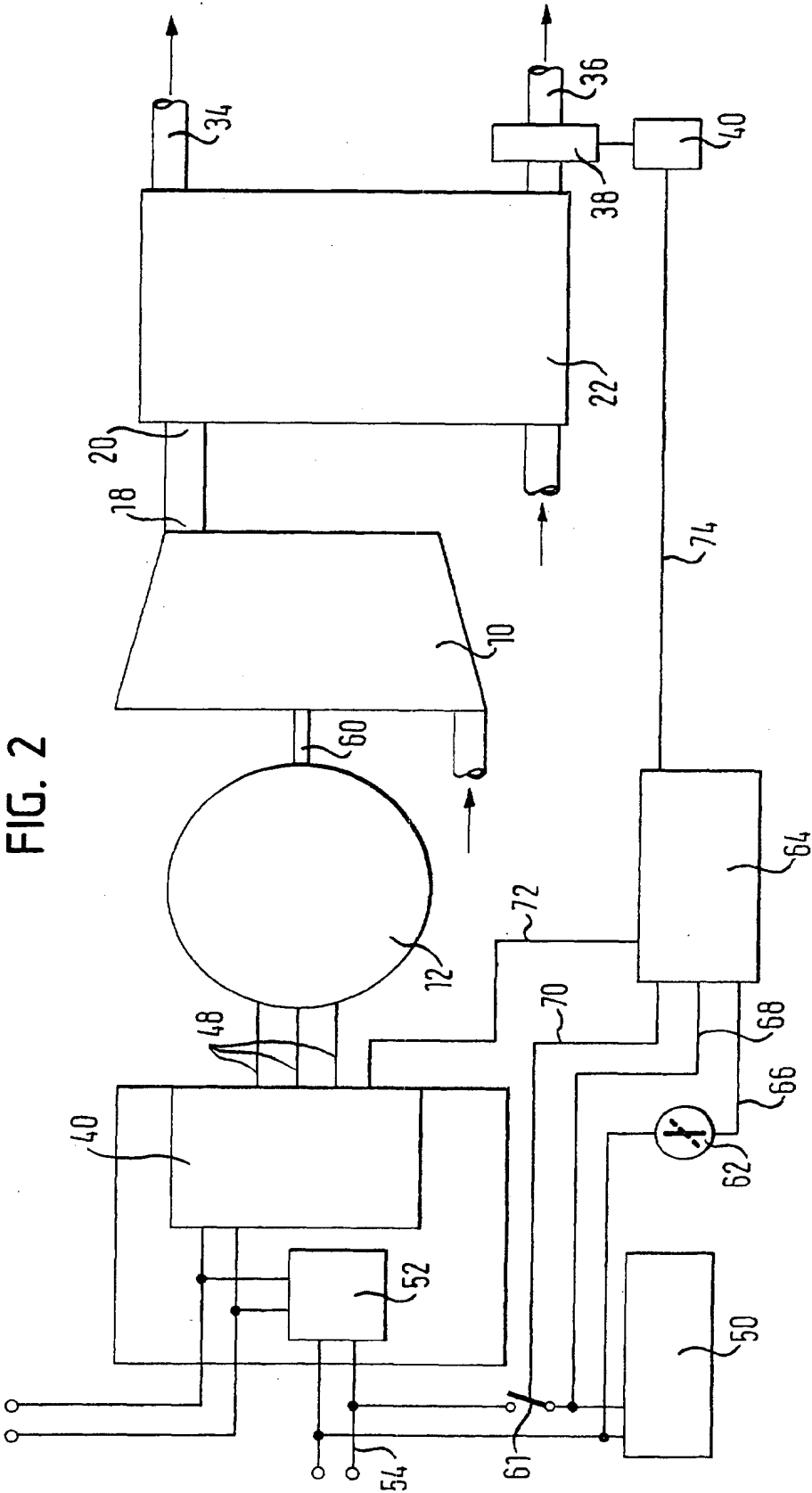


FIG. 3

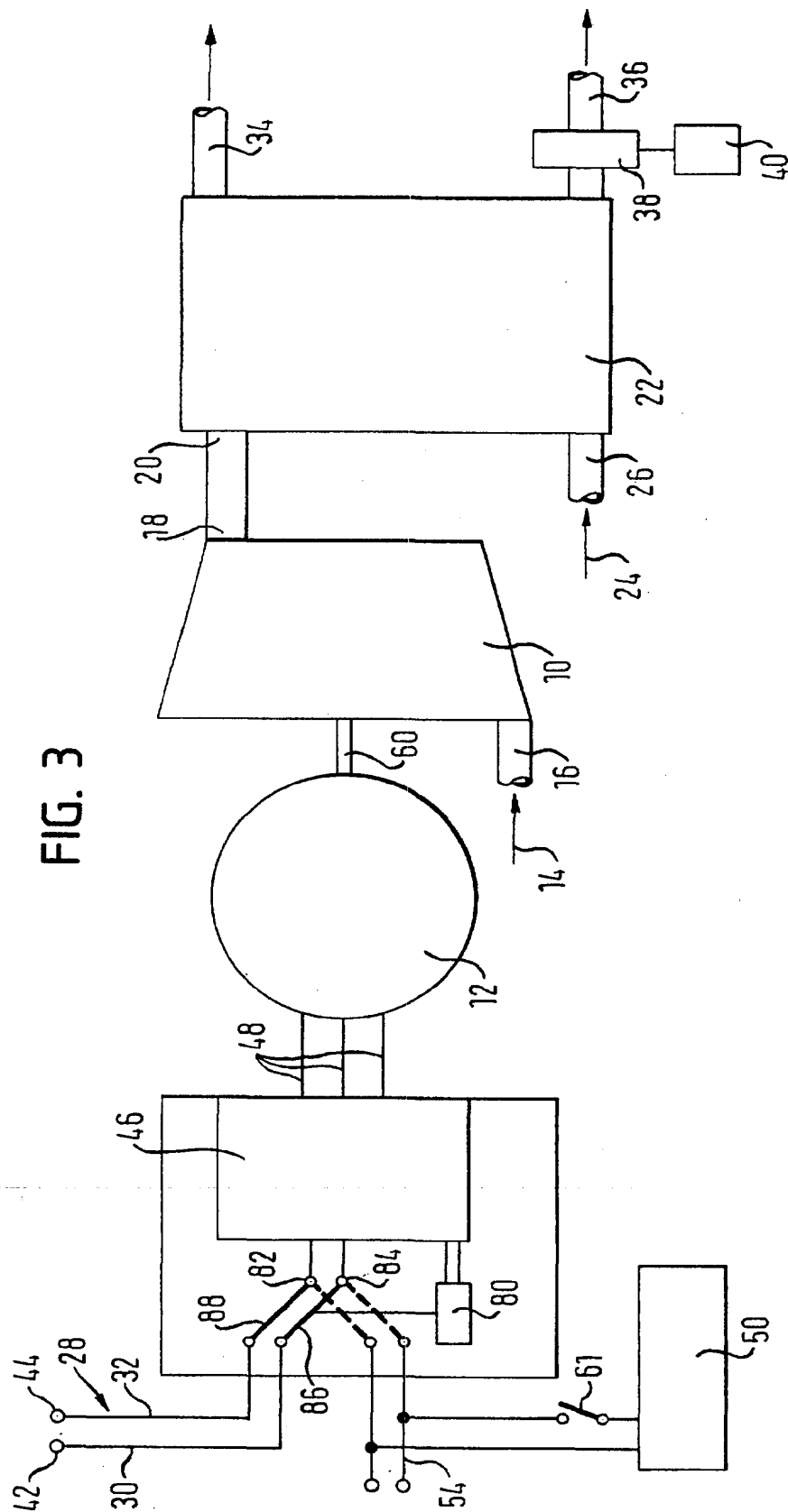


FIG. 4

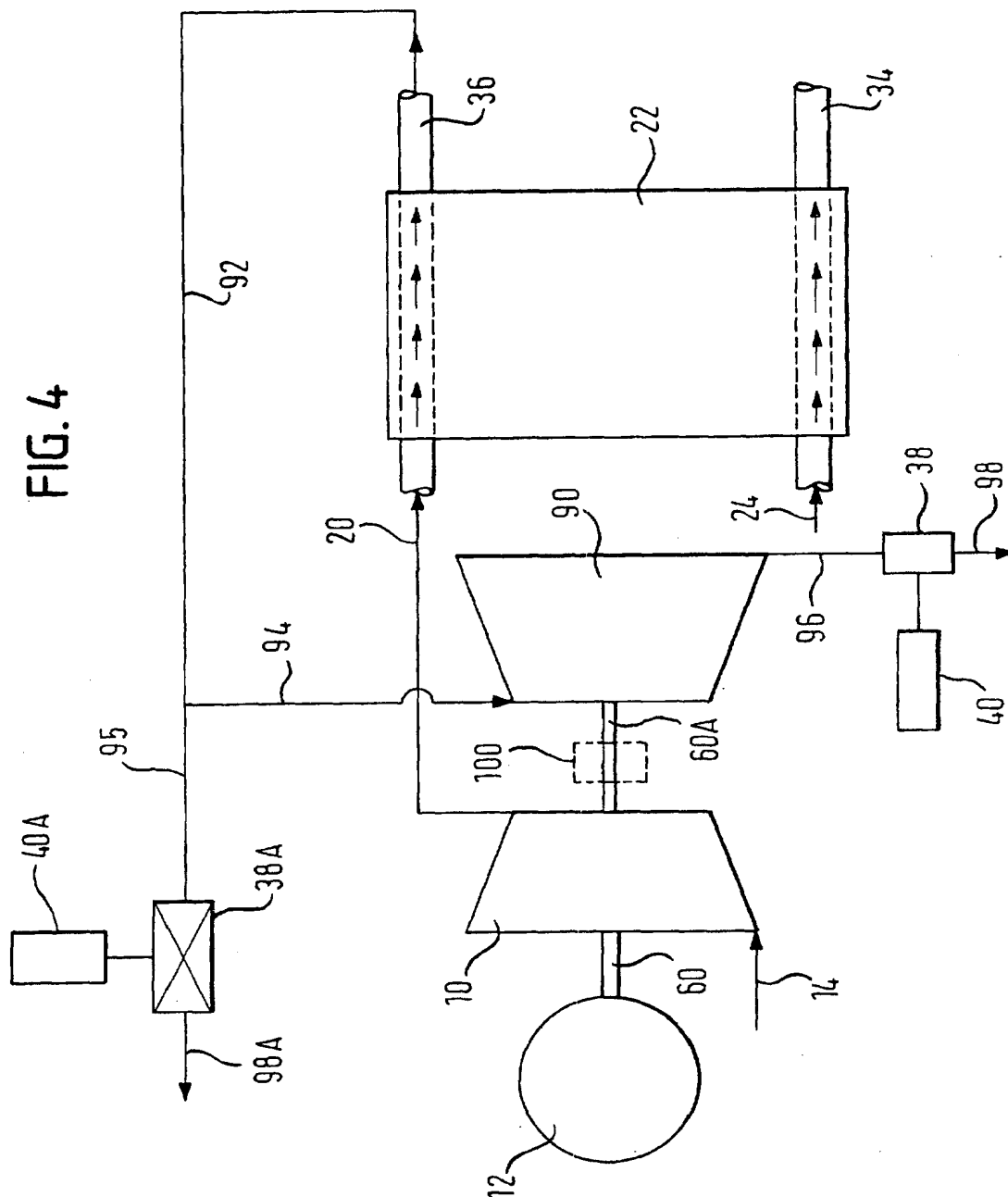


FIG. 5

